

LES COMPOSANTS DE PUISSANCE ET LEURS APPLICATIONS

Introduction

- I - Redresseurs rapides
- II - Transistor Bipolaire
- III - Transistor MOS
- IV - Transistor IGBT
- V - Thyristors
- VI - Gate Turn-off Thyristor (GTO)
- VII - Triac

Introduction

Objectifs du cours

- Connaître les différentes structures de composants de puissance, leurs technologies
- Connaître les paramètres caractéristiques, leurs évolutions, leur inter-dépendance
- Faire le lien avec les exigences de certaines applications

LES REDRESSEURS RAPIDES

I - Généralités.

II - Redresseurs rapides bipolaires.

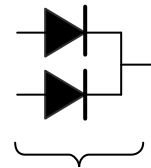
III - Redresseurs SCHOTTKY.

GENERALITES

• Famille de diodes / « rectifiers »:

– Basse tension:

- PN standard (fonction logique, redressement)
- Schottky (alimentations à découpage)
- Zener, Transil (protection), LED, Varicap



– Haute tension

• PIN

- standard (redressement 50 Hz; trr ~ 10 μ s)
- rapides (alimentation à découpage; trr ~ 100 ns)

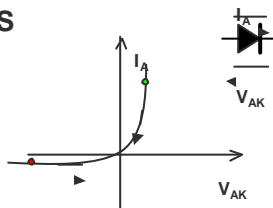
OU

GENERALITES

- Diodes rapides : Fonctions clés dans les convertisseurs d'énergie
 - 20 à 40 % des pertes !
- Les diodes rapides restent le point faible en électronique de puissance
 - Commutations spontanées: comportement propre à la technologie
 - Pas de diodes rapides "universelles" : Pb de compromis.
- Choix de la diode à utiliser dans une application :
 - Connaissance des caractéristiques et comportement des redresseurs disponibles
 - Analyse des contraintes appliquées par le circuit

GENERALITES

DES COMMUTATIONS SPONTANÉES :
- peu de pertes (a priori)

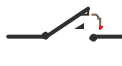


CARACTERISATION D'UNE DIODE :

Paramètres dynamiques

Paramètres statiques

Fermeture
(mise en conduction)



Etat passant



Ouverture
(blocage)



Etat bloqué



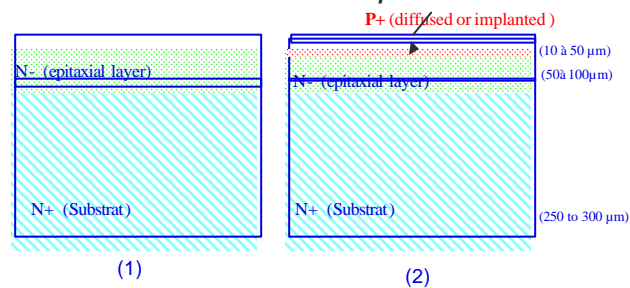
LES REDRESSEURS RAPIDES BIPOLAIRES

Plan

- Structure d'une diode (HT) - Rappel -
- Paramètres statiques.
- Paramètres dynamiques.
- Applications : les convertisseurs de base

STRUCTURE EPITAXIALE DIODE PIN (couche P - Zone intrinsèque - couche N)

couche N- où $n \approx p$

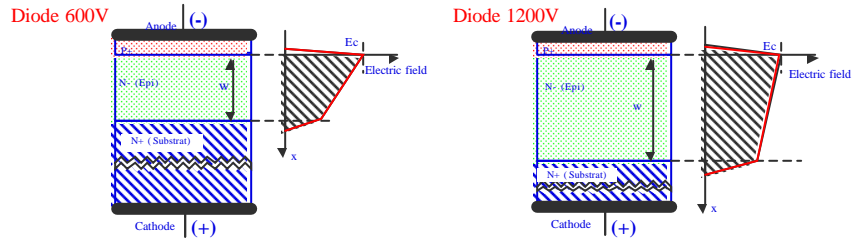


- 1 - Substrat monocristallin N+ fortement dopé
Croissance d'une couche épitaxiée N- très faiblement dopée
- 2- Diffusion (ou implantation) d'une zone P+ : Anode

➡ Précision du contrôle de l'épaisseur de la couche épi.
➡ Faible dispersion des paramètres.
➡ Profil de diffusion abrupte: injection de porteurs + efficace.

STRUCTURE PiN

1 - ETAT BLOQUE : Tenue en tension inverse



Tension appliquée = surface hachurée graphe $E(x)$

Valeur max fixée par :

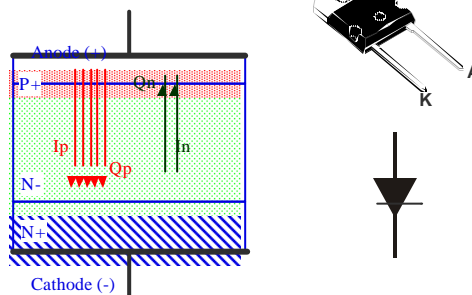
- le champ critique ($E_c \approx 200\text{kV/cm}$ pour Si)
- la résistivité ρ (pente dE/dx)
- l'épaisseur w de la base N^-



La tenue en tension est d'autant plus élevée que la profondeur de base est importante et que sa résistivité est forte.

STRUCTURE PiN

2- ETAT PASSANT



La zone P^+ est la plus dopée :

Le courant de trous $I_p \gg I_n$ va générer une grande quantité de charges Q_p dans la zone N^-

Pendant la conduction la base N^- est "inondée" de porteurs minoritaires.



La chute de tension est d'autant plus faible que la profondeur de base est courte et que sa résistivité est faible

STRUCTURE PiN

3- L'OUVERTURE : LE PROBLEME MAJEUR

- A l'instant de l'application de la tension inverse aux bornes de la branche, la diode est toujours **passante, même lorsque son courant commence à s'inverser** (application RF).
- Le blocage sera effectif quand toutes les charges seront **évacuées**
- Rapidité de la diode est liée à la **vitesse d'extraction** de ces charges.
- La quantité de porteurs minoritaires présente dans la base (donc la rapidité au blocage) dépend :
 - du courant direct qui circulait avant le blocage.
 - de l'épaisseur de la base
 - de la durée de vie de ces porteurs (t_r)
- Techniques de réduction de t_r :
 - Dopage Or
 - Dopage Platine
 - Irradiation (bombardement électronique)



La chute de tension à l'état passant sera d'autant plus élevée que le temps de recombinaison sera plus court.

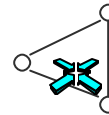
STRUCTURE PiN

LES REDRESSEURS RAPIDES - RECAPITULATIF

LE COMPROMIS

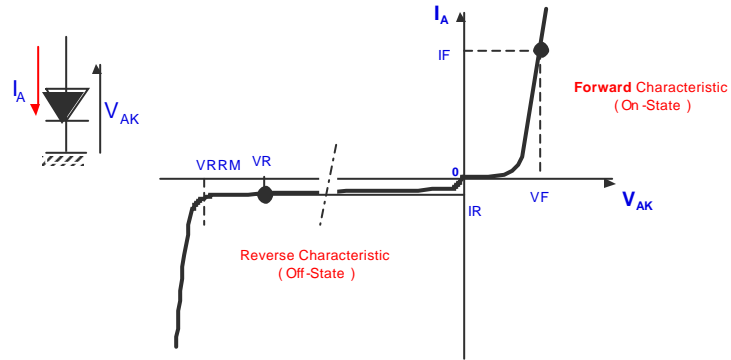
Les performances d'un redresseur rapide seront toujours le résultat d'un **compromis** entre :

- **La tenue en tension inverse.**
- **La rapidité (au blocage).**
- **La chute de tension à l'état passant.**



CARACTERISTIQUE STATIQUE

Paramètres de la caractéristique statique "tension - Courant "



CARACTERISTIQUE STATIQUE DIRECTE

CARACTERISTIQUE DIRECTE (ETAT PASSANT)

- Chute de tension à l'état passant
- Pertes en conduction
- Courant maximum admissible

CARACTERISTIQUE STATIQUE DIRECTE

CHUTE DE TENSION A L'ETAT PASSANT (VF : Forward voltage drop)

Le VF est fonction :

- du courant I_F [Forward current].
- de la température de la jonction
- de la tension inverse Max du composant considéré.
- de sa "rapidité" (dopage Or ou Pt)
- de la surface active de la diode (calibre en courant)

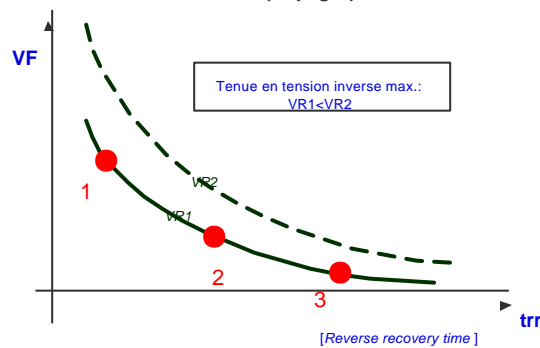
} Application

} Composant

CARACTERISTIQUE STATIQUE DIRECTE

CHUTE DE TENSION A L'ETAT PASSANT

Evolution du VF avec la durée de vie (dopage) et la tension inverse



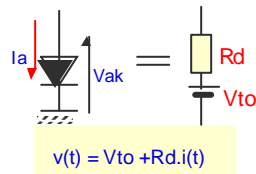
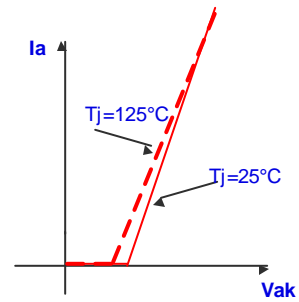
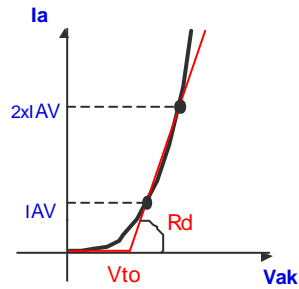
Suivant les applications il faudra choisir le meilleur **compromis**

- 1: Redresseur très rapide avec VF élevé (Applis dont les pertes en commut. sont prépondérantes.)
- 2: Redresseur rapide "moyen" (Applis sans exigences "pointues")
- 3: Redresseur rapide à faible VF. (Applis dont les pertes en conduction sont prépondérantes.)

CARACTERISTIQUE STATIQUE DIRECTE

CHUTE DE TENSION A L'ETAT PASSANT ($V_F = f(I_F)$)

Modélisation de la diode en direct.



$$v(t) = V_{to} + R_d \cdot i(t)$$

V_{to} et R_d spécifiés à $T_j \text{ MAX}$
[Maximum Junction temperature]

- Variation avec la température de la jonction:
 - à faible courant : $a \approx -1.8 \text{ mV/}^\circ\text{C}$
 - à niveau élevé (10x courant nom.): $a = 0$ ou >0 (prépondérance éléments ohmiques)

CARACTERISTIQUE STATIQUE DIRECTE

CHUTE DE TENSION A L'ETAT PASSANT

Le V_F dépend peu de la surface (active) de silicium.

Exemple: Diodes 1200 V

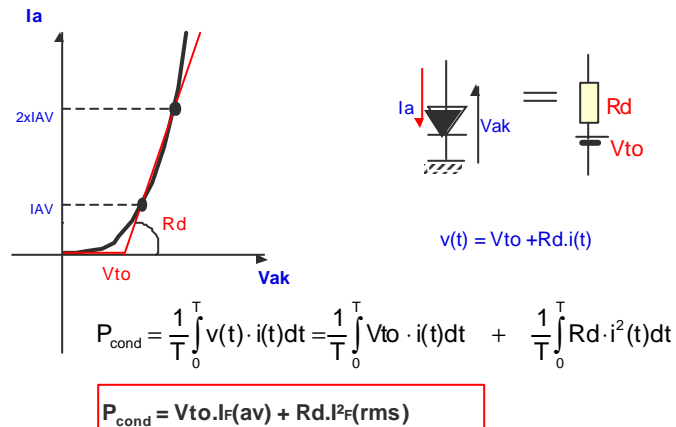
Calibre	V_{to}	R_d	$V_F @ 8\text{Amp}$
8 Amp.	1.15 V	43 m Ω	1.49 V
12 Amp.	1.15 V	29 m Ω	1.38 V

Surface Si +50% (indicated by a red arrow pointing down from the 8 Amp row to the 12 Amp row)

réduction V_F - 7% (indicated by a red arrow pointing down from the 8 Amp row to the 12 Amp row)

CARACTERISTIQUE STATIQUE DIRECTE

Courant max admissible: PERTES EN CONDUCTION (P_{cond})



$I_F(av)$ = Courant moyen dans la diode [Average current]
 $I_F(rms)$ = Courant efficace dans la diode [RMS current]

CARACTERISTIQUE STATIQUE DIRECTE

COURANT MAXIMUM ADMISSIBLE

Le paramètre physique qui limite le courant est la température de jonction ($T_J Max$) spécifié par le constructeur.

COURANT EFFICACE: $I_F(rms)$

Valeur "commerciale"; liée aux habitudes pour les diodes de redressement
 Pas de conditions de test spécifiées ou alors "fantaisistes" ($T_{case} = 25^\circ C$!)
 Valeur >> aux valeurs que l'on trouve dans les applications typiques

COURANT MOYEN : ($I_F(av)$)

[Average Forward Current]

Le courant maximum donné dans les feuilles de spécification est le **courant moyen** spécifié à une certaine **température de boîtier T_c** [Case temperature , T_{case}]

(La forme d'onde et le rapport cyclique sont précisés.)

$$T_J \leq T_J Max \text{ avec } T_J = T_{case} + P(av) \cdot R_{th(j-c)}$$

Paramètre clé : $R_{th(j-c)}$ [Junction to case thermal resistance]

COURANT DE SURCHARGE: I_{FSM}

[Surge non repetitive Forward Current]

Limite fixée par les éléments résistifs du montage [bonding].

Un redresseur est un composant très robuste en courant.

Surcharge impulsionnelle = 10 à 100 fois le courant nominal.

CARACTERISTIQUE STATIQUE

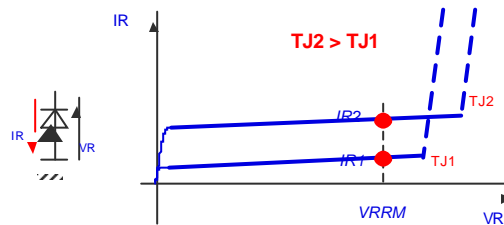
CARACTERISTIQUE INVERSE (ETAT BLOQUE)

- Courant de fuite.
- Caractéristique d'avalanche.
- Pertes en inverse.

CARACTERISTIQUE STATIQUE INVERSE

COURANT DE FUITE

IR : [Reverse (leakage) current]



- IR [Reverse Current] spécifié, en général, à la tension maximum de la diode
VRRM [Repetitive Peak Reverse Voltage]
et à la température de jonction MAX (**TJ Max**)

- Entre 0 et VRRM , IR varie peu avec VR (pente faible).

AVALANCHE : **VBR** [Breakdown Voltage]

En général, la tension d'avalanche n'est pas spécifiée.

Les redresseurs rapides haute tension (>600V) supportent assez mal le fonctionnement dans l'avalanche: **DANGER!**

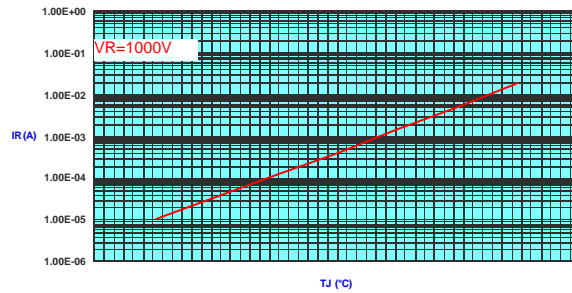
VBR augmente avec la température : $\alpha t = 0.1\% / ^\circ\text{C}$



Conclusion: Le calibre en tension sera choisi pour la Tamb minimale et la Tj maximale !

CARACTERISTIQUE STATIQUE INVERSE

$$I_R = f(T_J)$$



$$I_R(T_J) = I_R(25^\circ\text{C}) \exp [C(T_J - 25)]$$

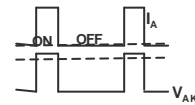
- C = 0.069** : Loi quelquefois utilisée pour simplifier : le courant de fuite double tous les 10°C (valeur trop "pessimiste" !)
- C = 0.055** : Valeur plus réaliste

CARACTERISTIQUE STATIQUE INVERSE

PERTES EN INVERSE

$$P_{rev} = V_R(1 - \delta) \cdot I_R$$

$$\text{avec } I_R = f(V_R, T_J)$$



- Les pertes au blocage sont généralement très faibles, voire négligeables, pour les redresseurs bipolaires.
- L'estimation peut être faite en prenant la valeur de I_R Max spécifiée à V_{RRM} et T_J max.

➡ Risque demballement thermique:



Attention au radiateur utilisé et à la température ambiante maximale !
 Problème à prendre en compte avec les diodes SCHOTTKY.

(δ : rapport cyclique du courant direct dans la diode)

CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

- Commutation à la fermeture.
(Amorçage / Mise en conduction)
- Commutation à l'ouverture.
(Blocage)
- Compromis:
Une diode rapide est une diode rapide au **blocage** (mais pas à l'amorçage).
Le dopage Pt permet un bon compromis.

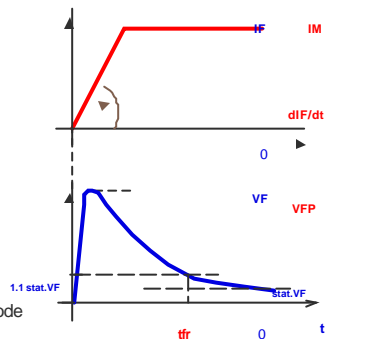
CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

Amorçage

La mise en place des porteurs minoritaires dans la base N- n'est pas instantanée.
Au début de la conduction, la diode se comporte comme une résistance de forte valeur ce qui provoque une surtension .

Paramètres :

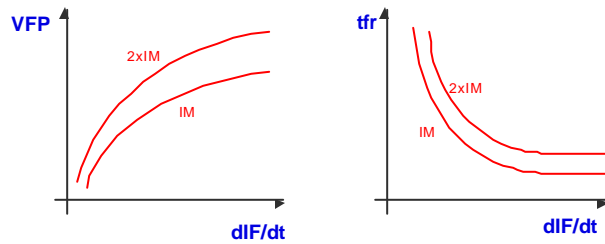
- Temps de recouvrement direct **tfr**
[*Forward recovery time*]
Quelques centaines de ns.
- Surtension **VFP**
[*Peak Forward Voltage*]
Peut atteindre plusieurs dizaines de volts.
Le VFP dépend :
 - du composant (épaisseur, résistivité)
 - de l'application (IM, dI/dt)
- le VFP augmente avec la rapidité de la diode
(tps d'injection/ temps de recombinaison)
- le VFP est faible pour une diode standard P+N



CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

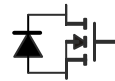
Amorçage

Variation de VFP et tfr avec dIF/dt



Dans certaines applications l'analyse du comportement à la fermeture de la diode est important. C'est le cas :

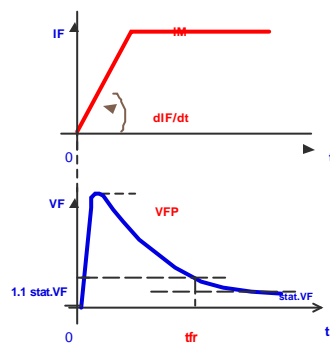
- lorsque les pertes ON qui en résultent ne sont pas négligeables.
- lorsque la surtension VFP peut perturber le circuit dans lequel la diode est utilisée.



CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

PERTES A LA FERMETURE

Pon : [Turn-on losses]



$$P_{on} = W_{on} \cdot F$$

W_{on} : Energie dissipée à chaque commutation (J)
 F : Fréquence de commutation (Hz)

On peut évaluer les pertes avec la formule approchée suivante :

$$W_{on} = k(V_{FP} - V_{Fstat}) \cdot I_M \cdot t_{fr}$$

On prendra en général $k = 0.4$

CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

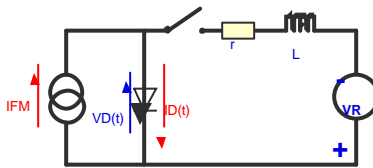
BLOCAGE

- Le comportement à l'ouverture - Les formes d'ondes.
- Les paramètres - Spécifications.
- Les pertes à l'ouverture.

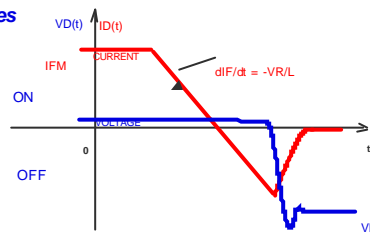
CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

BLOCAGE

*Circuit d'étude de la commutation à l'ouverture
(Dérivé du hacheur)*

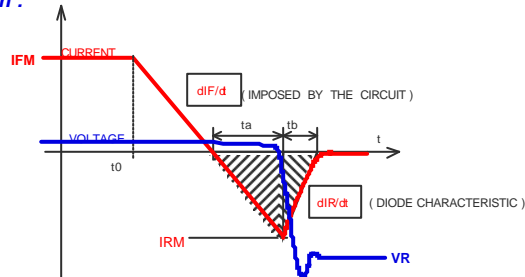


Formes d' ondes



CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES BLOCAGE

Description :

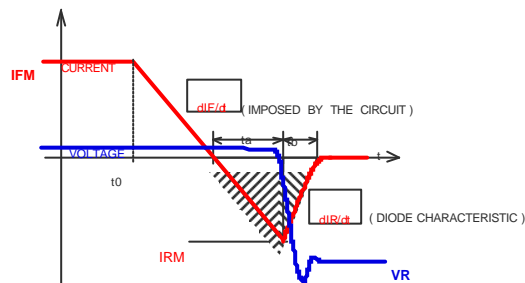


A l'instant $t=t_0$ le courant dans la diode décroît avec une pente dIF/dt imposée par le circuit. Les charges stockées pendant la conduction commencent à se recombiner, mais quand le courant s'annule il reste encore beaucoup de porteurs et la diode reste conductrice pendant le temps t_a .

Le courant s'inverse et atteint la valeur **IRM**. A cet instant, les charges étant pratiquement évacuées, la diode s'ouvre et le courant s'annule, après un temps t_b , avec une pente dIR/dt caractéristique de la structure du redresseur.

La tension aux bornes de la diode reste voisine de zéro jusqu'au moment où le courant atteint **IRM**. Ensuite la tension du circuit **VR** est brutalement appliquée avec, généralement, une **surtension** et, dans certains cas, des **oscillations** dues à la réponse des inductances et des capacités parasites du circuit au dIR/dt généré par la diode.

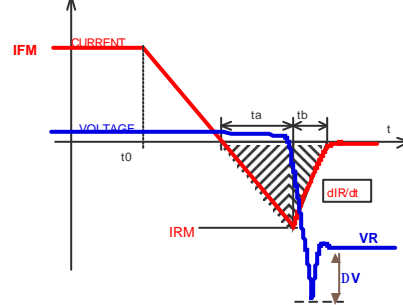
CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES RECOUVREMENT INVERSE : LES PARAMETRES



- $trr = t_a + t_b$ [Reverse recovery time]
- **IRM** [Maximum reverse recovery current]
- **Qrr** [Reverse recovery Charge] : Surface hachurée

CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

RECouvreMENT "PROGRESSIF"



Les surtensions et le bruit à l'ouverture sont dus au dI_R/dt et aux inductances parasites.
Ce paramètre est difficile à caractériser (et à mesurer).
On introduit le rapport :

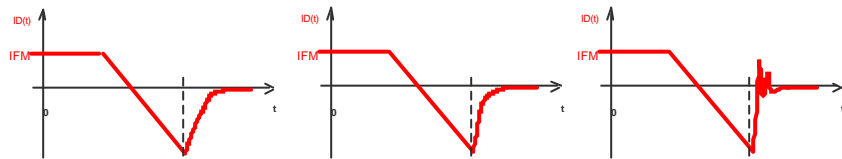
$$S = t_b/t_a \quad [\text{Softness}]$$

Compromis :

On voit que les pertes sont importantes pendant le temps t_b .
Mais en réduisant t_b (ou le dI_R/dt) on augmente les surtensions.

CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

FORMES DU COURANT AU RECouvreMENT



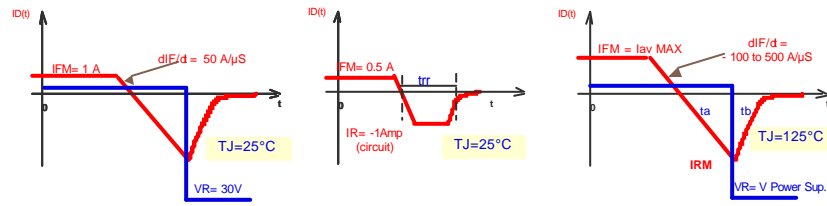
(a) "soft" recovery rectifier

(b) "hard" recovery rectifier
(Snap off effect)

(c) hard recovery rectifier
with oscillations (RFI pb.)

CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES SPECIFICATIONS DU RECOUVREMENT

Attention aux méthodes de mesures utilisées !!



(1) Méthode "Jedec"
trr

(2) Méthode "Unitrode"
Dérivée MIL Std
trr

(3) Nouvelles Specs
Paramètres utiles .
IRM , S,

Exemple : (STTA806 Diode rapide 8 A /600V)

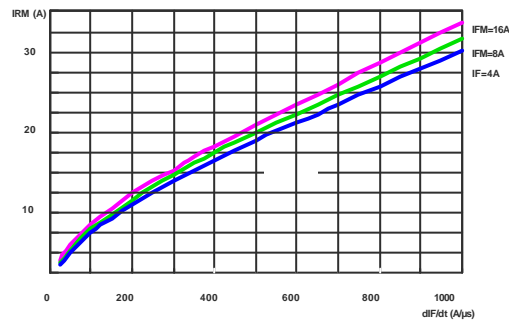
Méthode 1 : trr = 52 ns (Max)

Méthode 2 : trr = 25 ns (typ)

Méthode 3 : trr = 40 ns (typ)
IRM = 14A @ IFM=8amp , VR=400V et TJ=125°C
S = 0.47 (mêmes conditions)

CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

$$IRM = f (dIF/dt , IFM)$$



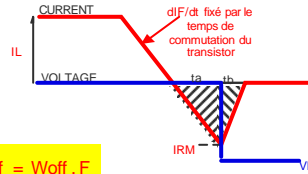
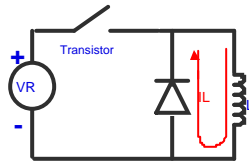
STTA 806 D (IRM @ 400V TJ=125°C)

Commutation forcée

CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

PERTES A L'OUVERTURE (1er cas)

1) Ouverture mode "roue libre" :
Commutation sur une source de tension (inductance négligeable)



$$P_{\text{off}} = W_{\text{off}} \cdot F$$

Woff : Energie dissipée à chaque commutation (J)
F : Fréquence de commutation (Hz)

$$W_{\text{off}} = \frac{k \cdot V_R \cdot S \cdot I_{\text{RM}}^2}{dI/dt} \quad k=1/2$$

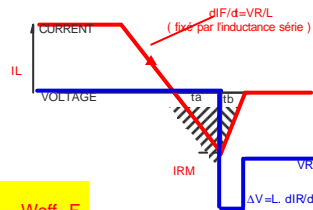
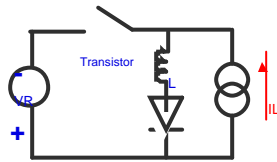
Note : Ceci est une approximation, en général, très pessimiste.
La tension inverse est réappliquée plus progressivement avec des transistors MOS ou IGBT ce qui réduit considérablement les pertes. (k=1/6)

Commutation naturelle

CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

PERTES A L'OUVERTURE (2ème cas)

2) Ouverture mode "redresseur" :
Commutation avec une inductance série L non négligeable



$$P_{\text{off}} = W_{\text{off}} \cdot F$$

Woff : Energie dissipée à chaque commutation (J)
F : Fréquence de commutation (Hz)
L'énergie stockée dans l'inductance est dissipée dans la diode

$$W_{\text{off}} = \frac{k \cdot V_R \cdot S \cdot I_{\text{RM}}^2}{dI/dt} + 1/2 L \cdot I_{\text{RM}}^2 \quad k=1/2$$

CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

Rapidité à l'ouverture - Conclusion

La rapidité est fonction :

- principalement du di/dt et, au 2nd ordre, du courant IF
 - de la température de la jonction (↗)
 - de la tension inverse Max du composant considéré (calibre mini)
 - de sa "rapidité" (dopage Or ou Pt)
 - de la surface active de la diode (calibre en courant mini)
- } Application
} Choix du Composant

APPLICATIONS

- Principales fonctions des redresseurs rapides.

- Diode "roue-libre"
- Diode de redressement (secondaires SMPS)
- Diode de "snubber"
- Diode démagnétisation (SMPS)
- Diodes du circuit de cde de base (transistor bipolaire)
- Diode "damper" (circuit à résonance)

- Modes de commutation.

- Commutation forcée :

Cas des diodes "roue- libre" et diodes de redressement utilisées dans des convertisseurs fonctionnant en mode **continu**.

Mode continu: Le courant dans l'inductance ne s'annule jamais pendant la commutation de l'interrupteur.

- Commutation naturelle (ou douce) :

Le courant s'annule "naturellement" dans la diode lorsqu'il essaye de s'annuler (courant AC ou résonance).

C'est le cas pour les diodes de redressement ou les diodes de roue-libre utilisées dans des convertisseurs fonctionnant en mode **discontinu** et pour les autres fonctions (listées plus haut).

Mode discontinu: Le courant dans l'inductance s'annule avant la fermeture de l'interrupteur.

APPLICATIONS

COMMUTATION FORCEEE

Le blocage de la diode est déclenché alors qu'il circule encore un courant direct non négligeable.

Ces conditions difficiles d'ouverture génèrent des contraintes sévères sur le reste du circuit en particulier :

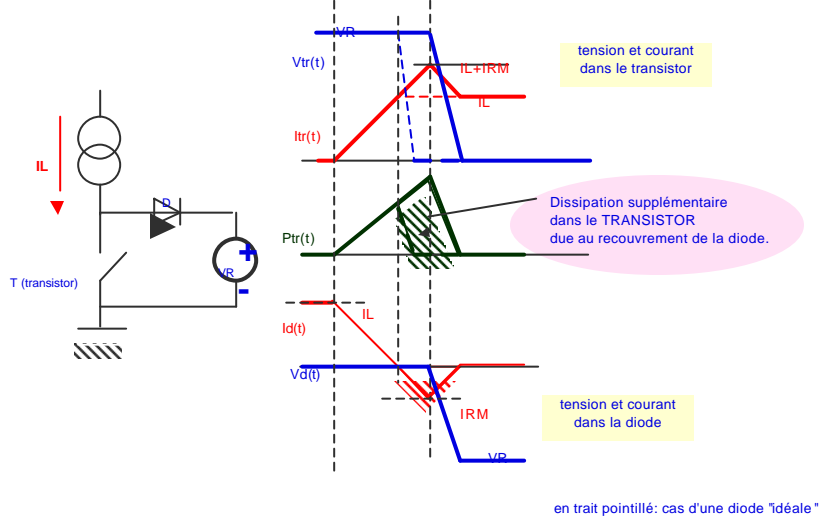
- Le courant de recouvrement inverse (**IRM**) surcharge le transistor de commutation et augmente la dissipation dans ce composant .
- La surtension aux bornes de la diode impose de surdimensionner les composants .
- Les oscillations nécessitent parfois des filtres supplémentaires .

On trouve ce cas de figure dans les topologies de base comme les hacheurs élévateurs de tension [**Boost**] ou abaisseurs de tension [**Buck**] qui fonctionnent en mode **continu** ainsi que dans de nombreux convertisseurs dérivés comme les alimentations "**Forward**" ou les alimentations "**Flyback**" utilisées en mode **continu** ou encore dans certains **onduleurs** pour les commandes de moteur.

APPLICATIONS

COMMUTATION FORCEEE

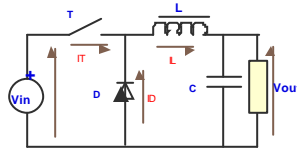
Impact du recouvrement de la diode sur le transistor de commutation



APPLICATIONS

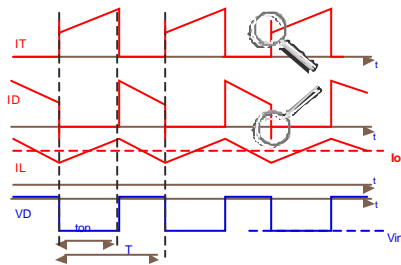
CONVERTISSEURS DC/DC (non isolé)

1) Convertisseur "Buck" Mode continu



Diode-roue libre :

La diode roue libre assure la continuité du courant dans l'inductance quand la source d'énergie est déconnectée. Tenue en tension > tension d'entrée



Les pertes de commutation à l'ouverture sont prépondérantes : il faut utiliser un redresseur très rapide :

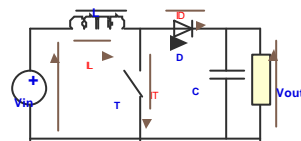
IRM est le paramètre clé.

Les pertes en conduction sont faibles devant les pertes au blocage :
Le **VF** est secondaire.

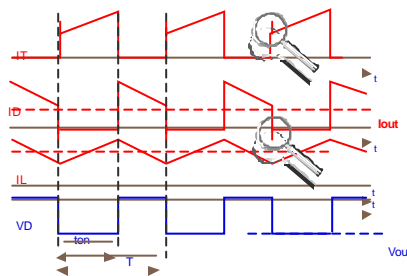
APPLICATIONS

CONVERTISSEURS DC/DC (non isolé)

2) Convertisseur "BOOST" Mode continu



La diode D (**diode "Booster"**) joue le rôle de roue libre. Elle assure la continuité du courant dans l'inductance quand le transistor s'ouvre. Tenue en tension > tension de sortie



Les pertes de commutation à l'ouverture sont prépondérantes : il faut utiliser un redresseur très rapide :

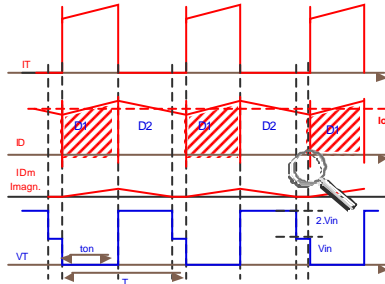
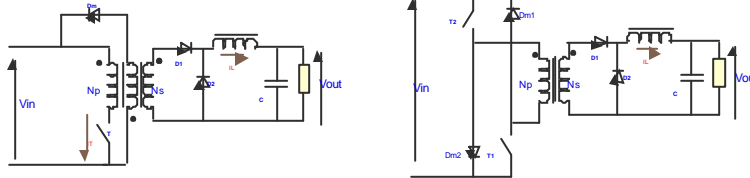
IRM est le paramètre clé.

Les pertes en conduction sont faibles devant les pertes au blocage :
Le **VF** est secondaire.

APPLICATIONS

CONVERTISSEUR "FORWARD"

Exemple en mode continu



La diode D2 est une diode roue-libre. Elle se bloque brusquement quand le transistor se ferme entraînant la mise en conduction immédiate de D1 (diode de redressement)

Le courant de recouvrement **IRM** de D2 s'ajoute au courant dans D1 et dans le transistor.
De même lorsque le transistor s'ouvre, la diode D1 se bloque, entraînant la mise en conduction de la diode D2.

Le courant de recouvrement **IRM** de D1 s'ajoute au courant direct de D2.

Les diodes D1 et D2 doivent :

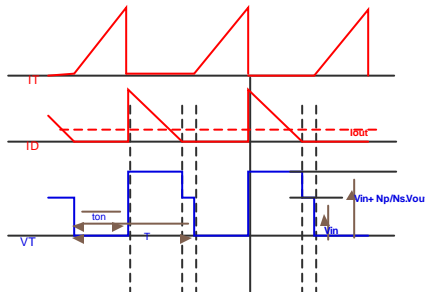
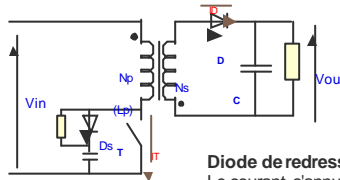
- Avoir un faible **VF** (rendement)
- Etre très rapides (faible **IRM**)
- Etre "**Soft**" pour éviter des oscillations (bruit)

APPLICATIONS

CONVERTISSEUR "FLYBACK"

Exemple en mode discontinu

D : diode de redressement
Ds : diode "snubber"
(Le circuit snubber absorbe l'énergie stockée dans l'inductance de fuite L_p et évite de faire fonctionner le transistor dans l'avalanche.)



Diode de redressement (D) :

Le courant s'annule dans la diode avant que la tension inverse ne soit réappliquée :

Pas de pertes au blocage.

Le **VF** est ici le paramètre clé :

Incidence sur les pertes en conduction et rendement de l'alimentation

Diode "Snubber" (Ds) :

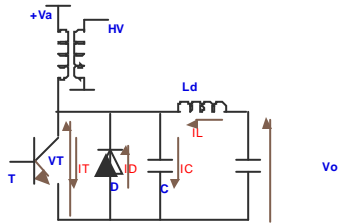
Le courant dans cette diode est une impulsion (charge de la capa). Il faut une diode rapide à la fermeture avec un faible **VFP** pour réduire la surtension sur le transistor.

De plus le recouvrement inverse doit être "**soft**" pour éviter d'injecter du bruit électromagnétique dans le circuit.

APPLICATIONS

CIRCUIT A RESONANCE (mode ZVS)

Exemple : Circuit de Déviation Horizontale pour tube TV/Monitor



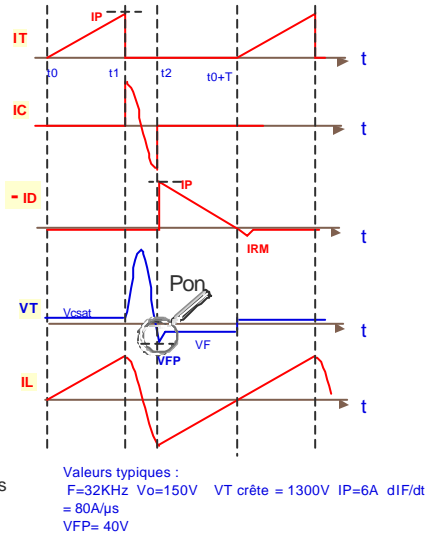
Lorsque la tension aux bornes du condensateur C s'inverse (circuit oscillant C-Ld) la diode est polarisée en direct et le courant I_P qui circulait dans l'inductance se referme à travers la diode D.

$$I_D(t) = I(t) = I_p - V_o \cdot t / L_d$$

Le courant s'établit avec un dI/dt élevé (limité par les inductances parasites entre D et C). Il en résulte un **VFP** important qui, associé au courant crête I_P , va générer des pertes **ON** non négligeables.

Attention: recouvrement sous tension faible !

=> Diode "rapide" dopage Platine

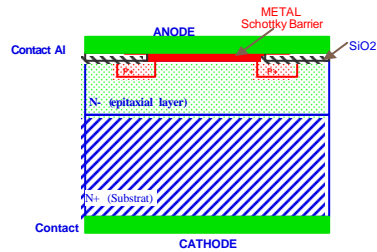


DIODES SCHOTTKY

Plan

- Structure d'une diode schottky - Rappel -
- Caractéristiques statiques
- Applications

STRUCTURE SCHOTTKY



- L'effet "redresseur" est réalisé par le contact métal-semiconducteur (barrière)
- Le métal choisi est déposé sur une couche de silicium épitaxiée (N-) de profondeur et de résistivité adaptées à la tension inverse requise (VR).
- Pour palier aux problèmes de périphérie (champ électrique élevé au bord de la barrière métallique) une méthode classique consiste à diffuser un anneau de garde P+.

STRUCTURE SCHOTTKY

CARACTERISTIQUES

- La nature du contact métallique, caractérisé par la "hauteur" de la barrière de potentiel (Φ_b), détermine:

- 1- Le seuil de tension à l'état passant
- 2- Le courant de fuite en inverse.

 COMPROMIS: $V_F - V_R : V_F \searrow \quad V_{RRM} \searrow$

- La conduction d'une diode SCHOTTKY est due à l'injection dans la base N- de porteurs MAJORITAIRES (électrons)

CONSEQUENCES:

- Pas de courant de recouvrement inverse (attention à l'anneau de garde !).
- Pas de surtension à la mise en conduction.

PAS DE PERTES EN COMMUTATION => Utilisation en Haute-Fréquence

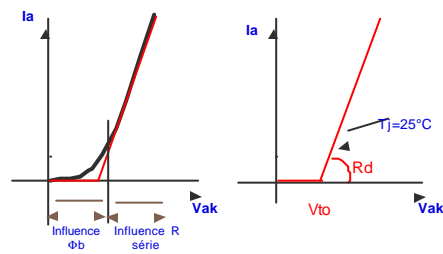
STRUCTURE SCHOTTKY Redresseur à faible VF

Exemple de compromis VF-IR

VRRM	15 V	25/30 V	40 V	45 V	60 V	100 V
Métal	Ti	Ni	Ni	PtNi	Ni	PtNi
VF (V)	0.3	0.4 - 0.5	0.5 - 0.6	0.6	0.6	0.7
JR @ 125°C (mA/mm ²)	50	20	18	8	8	0.3

CARACTERISTIQUE DIRECTE

I - Chute de tension à l'état passant.



La caractéristique $VF = f(I_F)$ à la même allure que celle d'un redresseur bipolaire. Le modèle simple (V_{to} R_d) est aussi utilisé pour le calcul des pertes en conduction.

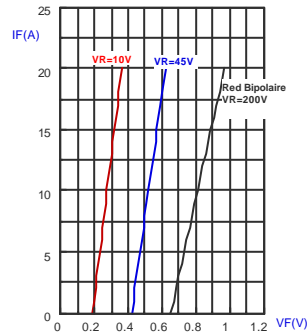
- Le coefficient de température du seuil de tension V_{to} est négatif et voisin de celui d'une jonction PN. (# 2 mV/°C)

CARACTERISTIQUE DIRECTE

I - Chute de tension à l'état passant.

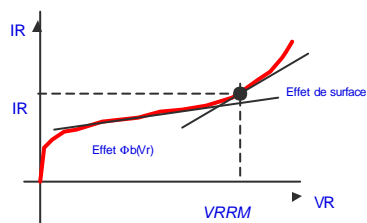
Un gain considérable par rapport aux redresseurs bipolaires !

Exemple de caractéristique VF(IF)
(Redresseurs 15 Ampères:)



CARACTERISTIQUE INVERSE

I - Courant de fuite inverse .



- Le courant de fuite (IR) d'une diode SCHOTTKY est 5 à 10 fois plus élevé qu'une diode bipolaire
- IR dépend de la tension inverse appliquée .
Variation importante au voisinage de la tension d'avalanche.
- IR augmente avec la température de jonction : Il double tous les 10 à 15 °C suivant la barrière utilisée. (# de la jonction PN).
- La température Maximum de fonctionnement est sensiblement plus faible que celle des diodes bipolaires (100 ou 125°C suivant les types)

➡ RISQUE IMPORTANT D'EMBALLEMENT THERMIQUE !

CARACTERISTIQUE INVERSE

STABILITE THERMIQUE

- Les pertes, à l'état bloqué, des diodes SCHOTTKY ne sont pas négligeables

➡ Risque d'emballement thermique : $T_J \uparrow \rightarrow IR \downarrow \rightarrow P_{prev} \downarrow \rightarrow T_J \uparrow$

A l'équilibre nous pouvons écrire:

$$\frac{T_J - T_{amb}}{R_{TH}(j-a)} = P_{cond} + P_{prev}$$

P_{prev} : pertes au blocage
(augmente avec la température)

P_{cond} : pertes en conduction
(indépendant de la température)

La condition de stabilité thermique s'écrit

$$\frac{dP_{prev}}{dT_J} < \frac{1}{R_{TH}(j-a)}$$

$$IR(T_J) = IR(25^\circ C) \exp [C(T_J - 25)] \quad \text{avec } C=0.055$$

$$P_{prev} = VR(1-\delta)IR(VR, T_J)$$

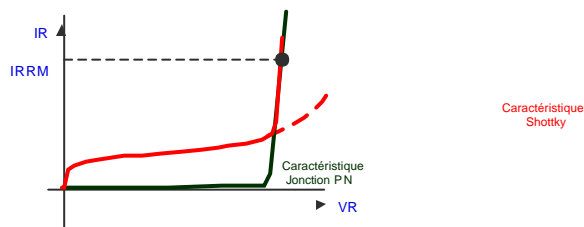
A la limite de stabilité on a :

$$\frac{dP_{prev}}{dT_J} = C \cdot P_{prev} = \frac{1}{R_{TH}(j-a)}$$

(δ : rapport cyclique du courant direct dans la diode)

CARACTERISTIQUE INVERSE

2 - Avalanche.



Pour éviter de fonctionner dans la caractéristique d'avalanche de la diode SHOTTKY, la jonction P+N - réalisée par l'anneau de garde, a une tension d'avalanche inférieure à celle de la SCHOTTKY.

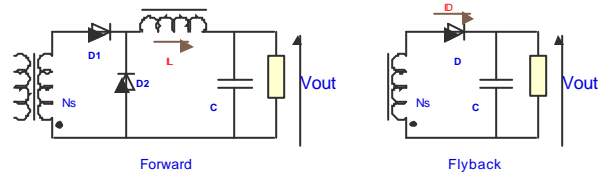
Le dispositif obtenu est plus robuste .

Les Redresseurs SCHOTTKY sont généralement spécifiés en "Robustesse" dans l'avalanche par le paramètre **IRRM** [*repetitive peak reverse current*]

Ce courant inverseforçé est de l'ordre de quelques ampères (suivant le calibre) pendant 2 μ s à 1KHz.

APPLICATIONS (1)

1) Redressement secondaire

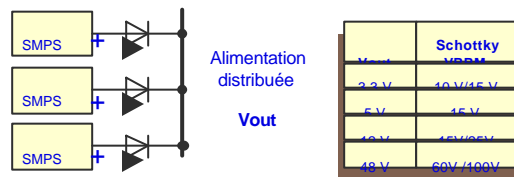


Vout	Schottky VRRM
3.3 V	25V
5 V	40/45V
12 V	100V

APPLICATIONS (2)

2) Diode série d'isolement (ou diode OR-ing)

Plusieurs alimentations en parallèle.
(Système redondant ou forte puissance)



Vout	Schottky VRRM
3.3 V	25V
5 V	40/45V
12 V	100V
48 V	60V/100V

Conclusion

A retenir...

- Diodes PIN:
 - Compromis V_F & rapidité à l'amorçage / tenue en tension / blocage
 - Pertes importantes à l'ouverture (réduire le dI/dt des transistors)
 - Choisir la bonne technologie en fonction de l'application (ne pas surdimensionner la tenue en tension)
- Diodes Schottky:
 - Pas de porteurs minoritaires (ou presque !)
 - Compromis Chute de tension / Tenue inverse
 - Attention au risque d'emballement thermique